

**ANALISA KOORDINASI *OCR (OVERCURRENT RELAY)* DENGAN  
MENGUNAKAN SIMULASI ETAP 12.6.0 & ISA-TDMS PADA  
GARDU INDUK JAJAR**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**GURUH ANDI PRATAMA**

**D400150113**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2018**

## HALAMAN PERSETUJUAN

### ANALISA KOORDINASI *OCR(OVERCURRENT RELAY)* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 12.6.0 & ISA-TDMS PADA GARDU INDUK JAJAR

## PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

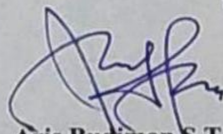
**GURUH ANDI PRATAMA**

**D400150113**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

acc 3/1-2018



**Aris Budiman, S.T., M.T.**

**NIK. 885**



## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISA KOORDINASI OCR (*OVERCURRENT RELAY*) DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 12.6.0 & ISA-TDMS PADA GARDU INDUK JAJAR

OLEH

GURUH ANDI PRATAMA

D400150113

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari rabu, 23 Januari 2019  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Aris Budiman, ST.MT

(.....)

(Ketua Dewan Penguji)

2. Tindyo Prasetyo, ST

(.....)

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Agus Uliniha, PhD

(.....)

(Anggota II Dewan Penguji)

Dekan,



Ir. Sri Soenariono, MT., PhD

NIK. 628



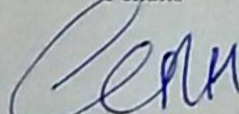
## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 5 Januari 2019

Penulis



**GURUH ANDI PRATAMA**

**D400150113**

# ANALISA KOORDINASI *OCR (OVERCURRENT RELAY)* DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI ETAP 12.6.0 & ISA-TDMS PADA GARDU INDUK JAJAR

## Abstrak

Sistem pengaman merupakan salah satu hal yang penting pada sistem daya listrik dikarenakan pada sistem daya listrik banyak terjadi gangguan. Pada dasarnya gangguan adalah keadaan sistem yang tak-normal yang terdiri dari hubungan-singkat dan juga rangkaian-terbuka. Maka dari itu dibutuhkan sistem pengaman agar mencegah maupun mengurangi terjadinya gangguan – gangguan yang terjadi pada sistem daya listrik. Salah satu peralatan sistem pengaman yang terpasang pada sebuah *transformator* yaitu *Overcurrent Relay (OCR)* yang bertujuan untuk mendeteksi gangguan pada sistem daya listrik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan mencari data parameter *transformator* dan *setting relay* pada gardu induk 150 kV Jajar, yang kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dan juga ISA-TDMS. Itu digunakan untuk mengetahui koordinasi antar *OCR* pada sisi *primer* 150 kV, sisi *sekunder* 20 kV, dan sisi penyulang 20 kV. Hasil dari simulasi ketika terjadi gangguan pada sisi *primer* 150 kV sebesar 366 A dengan waktu kerja *relay* 8,88 s, sisi *sekunder* 20 kV dengan besar gangguan 2747 A dengan waktu kerja *relay* 6,02 s dan sisi penyulang 20 kV dengan besar gangguan 2747 A dan waktu kerja *relay* 1,03 s .

**Kata Kunci:** Overcurrent Relay, ETAP 12.6.0, koordinasi *relay* arus lebih, Gardu induk.

## Abstract

The protection system is one of the important thing in the electrical power system because there is a lot of disturbance in the electrical power system. Basically, disturbance is an abnormal system conditions consisting of short circuit and open circuit. Therefore, a protection system is needed to prevent or reduce the occurrence of disturbances that occur in the electrical power system. One of the protection system equipment installed in a transformer is Overcurrent Relay (OCR) which aims to detect disturbance in the electrical power system. The method used in this research is to find transformer parameter data and relay settings at Jajar 150 kV substations, which are simulated using ETAP 12.6.0 and ISA-TDMS software. These are used to determine coordination between OCR on the primary side of 150 kV, the secondary side of 20 kV, and the feeder side of 20 kV. The results obtained from the simulation occur when the fault is at the primary side of 150 kV with 366 A with a relay working time of 8.88 s, secondary side of 20 kV with 2747 A with relay working time of 6.02 s and feeder side of 20 kV with 2747 A and relay working time of 1.03 s.

**Keywords:** Overcurrent Relay, ETAP 12.6.0, Overcurrent Relay Coordination, Substation.

## 1. PENDAHULUAN

Sistem pengaman merupakan salah satu hal yang penting pada sistem daya listrik dikarenakan pada sistem daya listrik banyak terjadi gangguan-gangguan. Pada dasarnya gangguan adalah keadaan sistem yang tak-normal sehingga gangguan pada umumnya terdiri dari hubungan-singkat dan juga rangkaian-

terbuka. Gangguan-gangguan rangkaian terbuka jauh lebih jarang terjadi dibanding dengan dengan gangguan-gangguan hubungan singkat, gangguan hubungan-singkat memerlukan perhatian yang jauh lebih besar daripada rangkaian-terbuka, meskipun beberapa gangguan rangkaian-terbuka mungkin menimbulkan bahaya bagi orang yang menanganinya (Stevenson, 1994). Sehingga sistem pengaman dan rele pengaman menjadi sangat penting. Rele pengaman ialah peralatan elektromekanik yang rumit yang dirancang untuk menghitung kondisi operasi sistem daya dan memutus sistem daya saat terjadi gangguan (Hussain, 2013). Semisal pada transformator tegangan tinggi maupun menengah umumnya menggunakan rele diferensial dan rele *Restricted Earth Fault* sebagai proteksi utama sedangkan *Overcurrent relay* dan rele gangguan ketanah sebagai pengaman cadangan.

PT PLN terus berupaya menyediakan tenaga listrik yang berkualitas untuk memenuhi kebutuhan konsumen di Indonesia. Untuk mengurangi gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem kelistirkam di Indonesia, PLN memerlukan sistem pengaman atau proteksi pada gardu induk untuk mengurangi kerusakan-kerusakan parah apabila terjadi gangguan pada gardu induk dan mengurangi pengaruh gangguan yang hanya pada sistem yang terganggu saja dan tidak merambat kesistem lainnya dan sistem masih berjalan dengan normal.

Berdasarkan uraian diatas maka akan dibahas mengenai koordinasi dari nilai konfigurasi *overcurrent relay* dengan data konfigurasi relay pada Gardu Induk 150 KV Jajar PT. PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah Unit Pelaksana Transmisi Salatiga. Dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dan ISA-TDMS yang dapat mensimulasikan aliran daya, gangguan hubungan-singkat, dan koordinasi konfigurasi *relay* pengaman OCR.

## **2. METODE**

### **2.1 Rancangan Penelitian**

Penyusunan tugas akhir ini didasarkan pada beberapa metode sebagai berikut:

#### **1) Studi literatur**

Studi literatur merupakan proses pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya, serta jurnal-jurnal yang berhubungan atau sebagai pendukung teori untuk menyelesaikan penelitian “Analisa Koordinasi *OCR (Overcurrent Relay)* Dengan Menggunakan Simulasi ETAP 12.6.0 & ISA-TDMS Pada Gardu Induk Jajar”.

#### **2) Pengambilan data**

Pengambilan data dilakukan di Gardu Induk 150 KV Jajar PT. PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah Unit Pelaksana Transmisi Salatiga untuk dijadikan sebagai bahan analisa pada penulisan tugas akhir ini.

### 3) Pengujian

Pengujian dilakukan untuk menguji nilai *setting relay* berdasarkan data yang diperoleh untuk mengetahui waktu kerja terhadap arus gangguan yang dirasakan oleh *relay*. Menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dan perangkat lunak ISA-TDMS.

### 4) Analisa Data

Data-data yang diperoleh berdasarkan simulasi ETAP 12.6.0 maupun pengujian dengan perangkat lunak ISA-TDMS kemudian dianalisa dengan perhitungan dan analisa koordinasi *relay* sisi *primer* 150 kV, sisi *sekunder* 20kV, dan sisi penyulang 20 kV.

### 5) Penyusunan Laporan

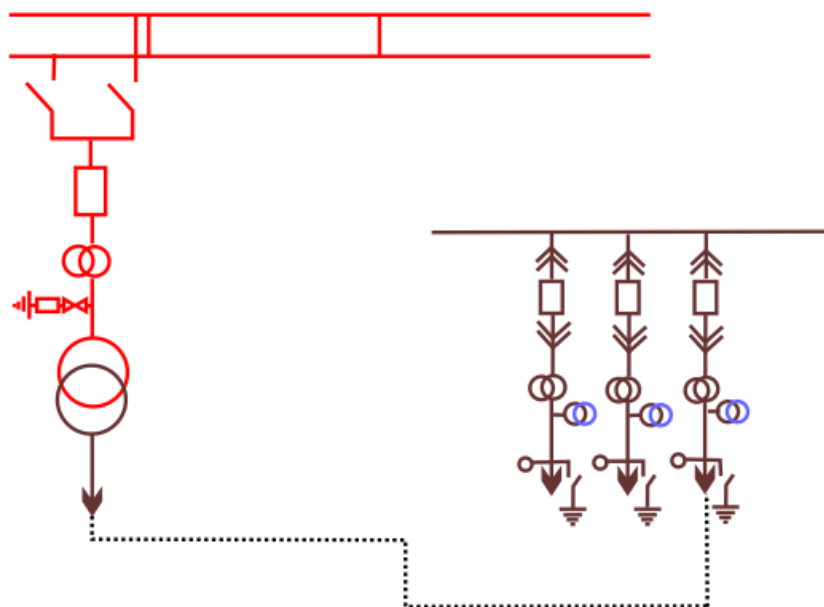
Data-data yang telah dianalisis kemudian dibahas untuk mendapatkan hasil dari penulisan penelitian ini.

## 2.2 Peralatan Pendukung Penelitian

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

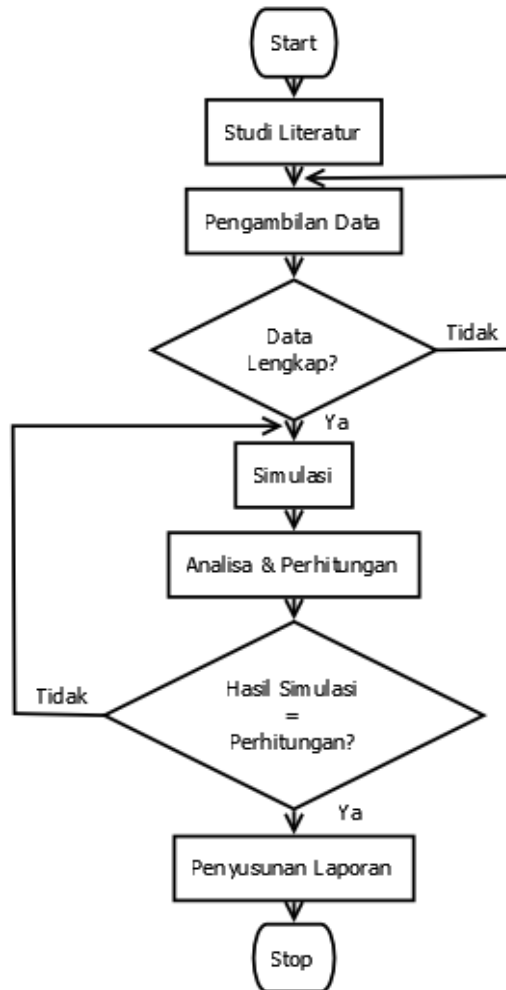
1. Komputer
2. Perangkat Lunak ETAP 12.6.0 digunakan untuk simulasi koordinasi sistem kerja *Overcurrent Relay* dengan Pemutus Tenaga pada sisi *primer* 150 kV, sisi *sekunder* 20 kV, dan sisi penyulang 20 kV.
3. Perangkat Lunak ISA-TDMS (Test data management system) digunakan untuk memperoleh hasil waktu kerja pada *Overcurrent Relay* terhadap arus gangguan yang diterima dengan nilai arus konfigurasi dan waktu konfigurasi *Overcurrent Relay* yang telah ditentukan.

## 2.3 Gambar Diagram Garis Gardu Induk Jajar 150 kV



Gambar 1. Diagram garis Gardu Induk 150 kV Jajar

## 2.4 Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Cara Kerja *Overcurrent Relay*

*Overcurrent relay* merupakan *relay* cadangan pada *transformator* yang bekerja berdasarkan kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu yang telah ditetapkan. Koordinasi kerja proteksi *overcurrent relay* dalam pengaturannya perlu memperhatikan arus kerja dan waktu kerja *relay*. Relay pada sisi penyulang 20 kV harus lebih cepat bekerja daripada sisi *sekunder* 20 kV, dan sisi *sekunder* 20 kV harus lebih cepat bekerja daripada sisi *primer* 150 kV.

### 3.2 Data yang Diperoleh dari Gardu Induk 150 KV Jajar PT. PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah Unit Pelaksana Transmisi Salatiga

Kapasitas	: 60 MVA
XT	: 12%
Relay yang dipakai	: Areva Micom P123
Kurva	: <i>Standard Inverse</i>



Tabel 1. Data *setting Overcurrent Relay* pada trafo 3 Gardu Induk Jajar

No	Keterangan	150 kV	20 kV	Penyulang 20kV
1	Arus <i>Setting Relay (I Set)</i>	0,92 x In	1,04 x In	0,8 x In
2	<i>Time Multiple Setting (TMS)</i>	0,36 s	0,24 s	0,26 s
3	Trafo CT	300/1	2000/5	600/5
4	Arus Nominal <i>Relay</i>	1 A	5 A	5 A
5	Arus <i>High Setting 1</i>	8 x In	3,5 x In	5,7 x In
6	<i>Time High Setting 1</i>	0,00 s	0,600 s	0,276 s

Berdasarkan data yang diperoleh dari Gardu Induk Jajar 150kV dapat kita analisa hasil perhitungan sebagai berikut ini:

Arus Nominal Trafo :

$$I_n \text{ Trafo} = \frac{S}{\sqrt{3} * V} \quad (1)$$

$$I_n \text{ Trafo} = \frac{60000}{\sqrt{3} * 150} = 230,9 \text{ A}$$

Keterangan :

$I_n$  Trafo = Arus Nominal Trafo (A)

S = Daya Semu (KVA)

V = Tegangan (KV)

Berdasarkan data hasil analisa diatas maka dapat dicari Arus *Setting Relay (I set)* pada sisi 150kV:

$$I_{set} = \frac{120\% * I_n}{\text{Rasio CT}} \quad (2)$$

$$I_{set} \text{ (Sekunder CT)} = \frac{120\% * 230,9}{300/1} = 0,9236 \text{ A}$$

$$I_{set} \text{ (Primer CT)} = \frac{300 * 0,6927}{1} = 277,08 \text{ A}$$

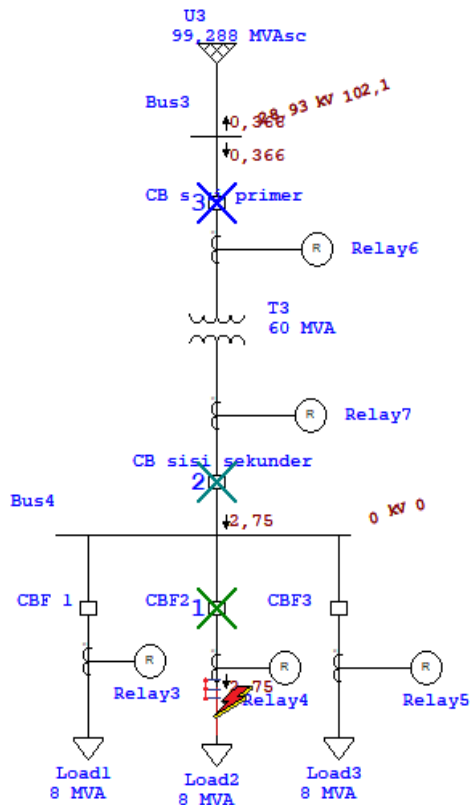
Keterangan:

$I_{set}$  = Arus *Setting* pada *Overcurrent Relay* (A)

$I_n$  = Arus nominal trafo (A)

### 3.3 Analisa Kerja Relay

#### 3.3.1 Simulasi Koordinasi Relay OCR Menggunakan ETAP 12.6.0



Gambar 3. Simulasi Koordinasi Sistem Proteksi *Overcurrent Relay* Pada ETAP 12.6.0

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between CT6 & Load2. Adjacent bus: Bus4

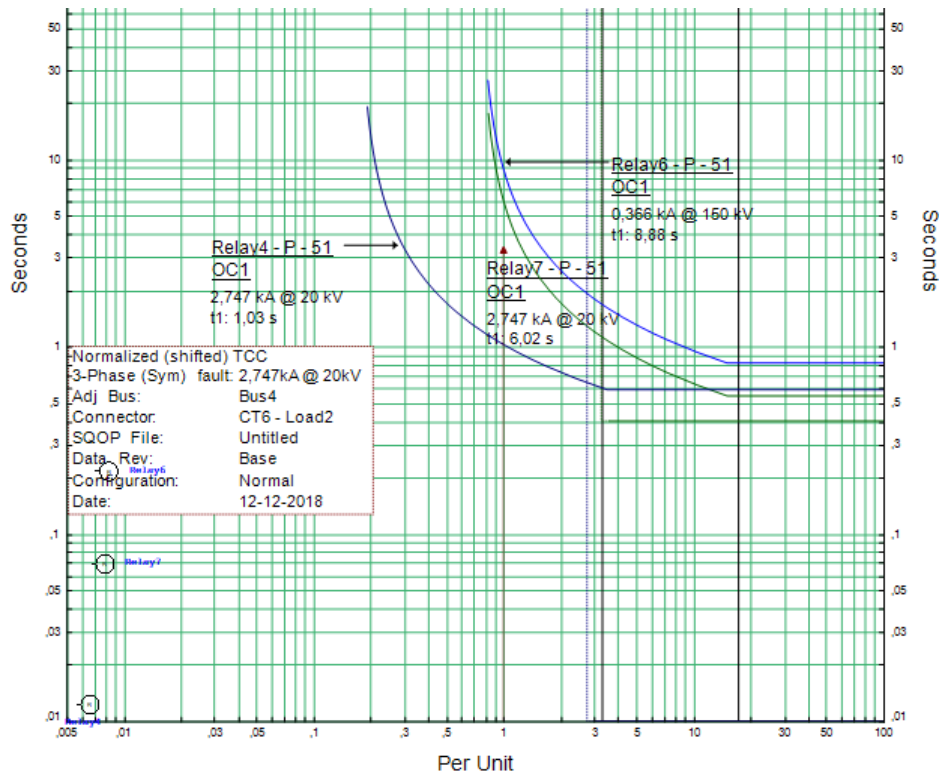
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 12-12-2018

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
1025	Relay4	2,747	1025		Phase - OC1 - 51
1108	CBF2	83,3			Tripped by Relay4 Phase - OC1 - 51
6021	Relay7	2,747	6021		Phase - OC1 - 51
6104	CB sisi seku...	83,3			Tripped by Relay7 Phase - OC1 - 51
8878	Relay6	0,366	8878		Phase - OC1 - 51
8961	CB sisi primer	83,3			Tripped by Relay6 Phase - OC1 - 51

Gambar 4. Sequence Viewer Pada ETAP 12.6.0

Simulasi koordinasi sistem proteksi *Overcurrent Relay* (OCR) menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Simulasi yang telah dilakukan dimasukkan data-data yang telah diperoleh dari Gardu Induk Jajar 150 kV yang meliputi Arus *Setting Relay* (*I Set*), *Time Multiple Setting* (*TMS*), dan Trafo CT. Data-data tersebut telah di konfigurasi dari sisi *primer* 150kV, sisi *sekunder* 20kV, dan juga sisi penyalang 20 kV. Gambar 4 diatas menunjukkan saat penyalang 2 mengalami gangguan arus lebih, *relay* 4 mendeteksi bahwa ada arus lebih 2,747 kA lalu setelah 1025 ms *relay* memberi sinyal kepada pemutus tenaga sisi penyalang untuk merubah posisi dari *closed* menjadi *open*. Apabila pada sisi

penyulang 20 kV mengalami kegagalan kerja maka *relay* 7 mendeteksi ada arus berlebih sebesar 2,747 kA lalu setelah 6021 ms *relay* memberi sinyal kepada pemutus tenaga pada sisi sekunder 20 kV untuk merubah posisi dari *closed* menjadi *open*. Apabila sisi sekunder mengalami kegagalan kerja maka *relay* 6 mendeteksi arus berlebih sebesar 0,366 kA lalu setelah 8878 ms maka *relay* memberi sinyal kepada pemutus tenaga sisi primer 150 kV untuk merubah dari posisi *closed* menjadi *open*. Dari simulasi yang telah dilakukan diperoleh gambaran koordinasi proteksi *Overcurrent relay* seperti nampak pada kurva grafik berikut:



Gambar 5. Kurva grafik koordinasi proteksi *Overcurrent Relay*

Gambar grafik diatas menunjukkan koordinasi kerja proteksi *Overcurrent Relay*. Analisa perhitungan sebagai contoh sisi sekunder 150 kV menurut grafik diatas yang telah disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0, arus gangguan yang terjadi pada sisi sekunder dan sisi penyulang sebesar 2,747 kA

Diperoleh besar arus gangguan pada sisi primer 150kV ialah:

$$\begin{aligned} \frac{V_p}{V_s} &= \frac{I_s}{I_p} \\ \frac{150000}{20000} &= \frac{2747}{I_p} \\ I_p &= \frac{2747 * 20000}{150000} \\ I_p &= 366,267 \text{ A} = 0,366 \text{ kA} \end{aligned} \quad (3)$$

Keterangan:

$V_p$  = Tegangan sisi *primer* trafo (V)

$V_s$  = Tegangan sisi *sekunder* trafo (V)

$I_s$  = Arus sisi *primer* trafo (A)

$I_p$  = Arus sisi *sekunder* trafo (A)

Waktu kerja *relay OCR* sisi 150 kV:

$$t = \frac{0,14}{(I_f/I_s)^{0,02} - 1} * TMS \quad (4)$$

$$t = \frac{0,14}{(366/277,08)^{0,02} - 1} * 0,36$$

$$t = 9,03 \text{ s}$$

Keterangan :

$T$  = Waktu kerja relay (s)

$TMS$  = *Time Multiple Setting* atau waktu *setting relay OCR* (s)

$I_f$  = Arus gangguan (A)

$I_s$  = Arus *setting* (A)

### 3.3.2 Simulasi menggunakan perangkat lunak ISA-TDMS 7.3

Tabel 2. Hasil percobaan simulasi pada ISA-TDMS 7.3

No	Sisi Primer 150 kV			Sisi Sekunder 20 kV			Sisi Penyulang 20 kV		
	$I_r$ (A)	$I_f$ (A)	T (s)	$I_r$ (A)	$I_f$ (A)	T (s)	$I_r$ (A)	$I_f$ (A)	T (s)
1	1	300	30,197	10,23	4092	2,466	16,02	1922,4	1,294
2	1,3	390	7,263	10,73	4292	2,302	16,52	1982,4	1,265
3	1,6	480	4,529	11,23	4492	2,165	17,02	2042,4	1,239
4	1,9	570	3,45	11,73	4692	2,048	17,52	2102,4	1,214
5	2,2	660	2,865	12,23	4892	1,948	18,02	2162,4	1,191
6	2,5	750	2,496	12,73	5092	1,86	18,52	2222,4	1,69
7	2,8	840	2,239	13,23	5292	1,782	19,02	2282,4	1,149
8	3,1	930	2,049	13,73	5492	1,714	19,52	2342,4	1,13
9	3,4	1020	1,903	14,23	5692	1,652	20,02	2402,4	1,112



10	3,7	1110	1,786	14,73	5892	1,597	20,52	2462,4	1,095
11	4	1200	1,69	15,23	6092	1,547	21,02	2522,4	1,079
12	4,3	1290	1,609	15,73	6292	1,501	21,52	2582,4	1,064
13	4,6	1380	1,541	16,23	6492	1,459	22,02	2642,4	1,049
14	4,9	1470	1,482	16,73	6692	1,421	22,52	2702,4	1,035
15	5,2	1560	1,43	17,23	6892	1,386	23,02	2762,4	1,022
16	5,5	1650	1,384	17,73	7092	1,353	23,52	2822,4	1,009
17	5,8	1740	1,344	18,23	7292	1,323	24,02	2882,4	0,997
18	6,1	1830	1,307	18,73	7492	1,294	24,52	2942,4	0,986
19	6,4	1920	1,274	19,23	7692	1,268	25,02	3002,4	0,975
20	6,7	2010	1,244	19,73	7892	1,243	25,52	3062,4	0,964
21	7	2100	1,217	20,23	8092	1,22	26,02	3122,4	0,954
22	7,3	2190	1,192	20,73	8292	1,198	26,52	3182,4	0,944
23	7,6	2280	1,168	21,23	8492	1,178	27,02	3242,4	0,935
24	7,9	2370	1,147	21,73	8692	1,158	27,52	3302,4	0,928
25	8,2	2460	0,001	22,23	8892	1,14	28,02	3362,4	0,917
26	8,5	2550	0,001	22,73	9092	0,6	28,52	3422,4	0,276
27	8,8	2640	0,001	23,23	9292	0,6	29,02	3482,4	0,276
28	9,1	2730	0,001	23,73	9492	0,6	29,52	3542,4	0,276
29	9,4	2820	0,001	24,23	9692	0,6	30,02	3602,4	0,276
30	9,7	2910	0,001	24,73	9892	0,6	30,52	3662,4	0,276

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ISA-TDMS 7.3 didapatkan nilai waktu kerja dan nilai arus yang dibaca oleh *Overcurrent Relay* pada sisi primer 150 kV arus yang terbaca 1 A dengan waktu tunda sebesar 30,197 s arus gangguan yang terjadi pada sisi primer CT sebesar 300 A dan *setting highset* atau *setting definite time* pada *relay* akan aktif saat *relay* membaca arus sebesar 8,2 A maka *relay* akan bekerja dengan waktu 0,001 s dengan arus gangguan pada sisi primer CT sebesar 2460 A, sedangkan pada sisi sekunder 20 kV arus yang dibaca oleh *relay* sebesar 10,23 A dengan waktu tunda sebesar 2,466 s arus gangguan yang terjadi pada sisi

primer CT sebesar 4092 A dan *setting highset* atau *setting definite time* pada relay akan aktif saat *relay* membaca arus sebesar 22,73 A maka relay akan bekerja dengan waktu 0,6 s dengan arus gangguan pada sisi primer CT sebesar 9092 A, sedangkan pada sisi penyulang 20 kV arus yang dibaca oleh *relay* sebesar 16,02 A dengan waktu tunda sebesar 1,294 s arus gangguan yang terjadi pada sisi primer CT sebesar 1922,4 A dan *setting highset* atau *setting definite time* pada relay akan aktif saat *relay* membaca arus sebesar 28,52 A maka relay akan bekerja dengan waktu 0,269 s dengan arus gangguan pada sisi primer CT sebesar 3422,4 A.

#### **4. Penutup**

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilaksanakan pada tugas akhir kali ini dengan pengambilan data – data pada Gardu Induk 150 KV Jajar PT. PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah Unit Pelaksana Transmisi Salatiga dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Koordinasi waktu kerja *Overcurrent Relay* menggunakan 2 metode kurva grafik yaitu grafik *standard inverse* dan metode *definite time*.
2. Metode waktu kerja *relay standar inverse* digunakan untuk memberikan waktu tunda yang berbanding terbalik dengan besar arusnya, semakin besar arus gangguan maka semakin kecil waktu tundanya.
3. Metode waktu kerja *definite time* bekerja saat terjadi arus gangguan yang cukup besar.
4. Urutan kerja *relay* yang awal bekerja ialah tempat yang terkena gangguan terlebih dahulu seperti pada *relay* penyulang 20 kV dahulu yang bekerja kemudian bila terjadi kegagalan baru pada *relay* sisi sekunder 20 kV yang bekerja kemudian bila terjadi kegagalan juga di sisi sekunder 20kV barulah *relay* pada sisi primer 150 kV yang akan bekerja.
5. Hasil dari simulasi ini dapat dijadikan acuan untuk membandingkan pada pengujian *relay* di lapangan apakah *relay* memerlukan konfigurasi ulang atau tidak.

#### **PERSANTUNAN**

Puji syukur alhamdulillah dalam penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik berkat dukungan dari banyak pihak yang ikut andil dan berperan serta. Penulis berharap dalam laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak dan pembaca. Dalam kesempatan yang penuh syukur ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Allah SWT, atas limpahan karunia, rahmat, nikmat dan izin-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan baik.
2. Rasulullah Muhammad SAW, karena syafaat dan doanya untuk umat Islam sehingga umat muslim senantiasa dalam lindungan Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

3. Ibu dan Ayah. Yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis. Semoga rahmat Allah Ta'ala selalu menyertai kalian. Amin ya rabbal'alamin
4. Saudara-saudara ku yang selalu mendukung penulis dalam masa kuliah.
5. Bapak Umar, ST. MT sebagai kepala jurusan Teknik Elektro.
6. Bapak Aris Budiman, ST.MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberi masukan serta semangat dalam proses penelitian ini.
7. Dosen Faklitas Teknik Elektro yang telah memberi ilmu-ilmunya. Semoga bermanfaat.
8. Gardu Induk 150 KV Jajar PT. PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah Unit Pelaksana Transmisi Salatiga yang telah memberikan kesempatan untuk memperoleh data yang diperlukan untuk penelitian.
9. Teman-teman kontrakan yang selalu memberi semangat penulis
10. Teman-teman mahasiswa jurusan Teknik Elektro

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. dan Kuwahara, S, 1993. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Hussain, M.H. dkk. 2015. *Optimal Overcurrent Relay Coordination: A Review*. Malaysia: Malaysian Technical University.
- McCalley, J. dkk. 2015. *System Protection Schemes: Limitation, Risks, and Management*. Iowa: PSERC
- PT PLN. 2009. *Proteksi dan Kontrol Transformator*. Jawa Tengah: PT PLN
- Susanto, G.D. 2017 *Analisis Koordinasi Overcurrent Relay Menggunakan Software Etap 12.6.0 & Isa-Tdms 6.5.1*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Supriyadi, E, 1999. *Sistem Pengaman Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Adicita Karya Nusa.
- Stevenson, W.D. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Soekarto, J. 1985. *Filosofi Pengaman*. Jakarta: PLN.
- Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. New York: The McGraw-Hill
- Zamora, A.J. dkk. 2015. *Power Quality and Digital Protection Relays*. United Kingdom: University of Strathclyde.